

人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートの高所ポンプ圧送試験

(社)PC建設業協会 九州支部	正会員	○ 左東 有次
九州大学大学院 工学研究院	正会員 工博	大塚 久哲
国土交通省 九州地方整備局		塚原 健一
(株)長大 福岡支社		中尾 好幸

1. はじめに

熊本県五木村で計画されている4径間連続PCバランスドアーチ橋の頭地大橋(仮称, 図-1)は, 橋体重量軽減によるコスト削減を目的として人工軽量骨材を使用した高強度軽量コンクリートの採用を検討している。本橋において軽量コンクリートの使用を考えている部位はアーチリブ, 鉛直材, 橋脚でコンクリート打設には, 鉛直距離70m, 水平距離80mの高所ポンプ圧送が必要となる。このうちアーチリブおよび鉛直材は設計基準強度 $40\text{N}/\text{mm}^2$ での設計を検討しており, 軽量骨材コンクリートとしては高強度となる。しかし, このような高強度の軽量骨材コンクリートのポンプ圧送性を報告した例は少なく, また, 「コンクリートのポンプ施工指針」¹⁾では, 軽量骨材コンクリートをポンプ圧送する場合には, 試験圧送を行うなどして, 圧送性について十分な事前検討を行うこととされている。

本稿では, 人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性を調べるために実施した高所ポンプ圧送試験およびアーチスプリングを模した実物大試験体による施工性確認試験について報告する。

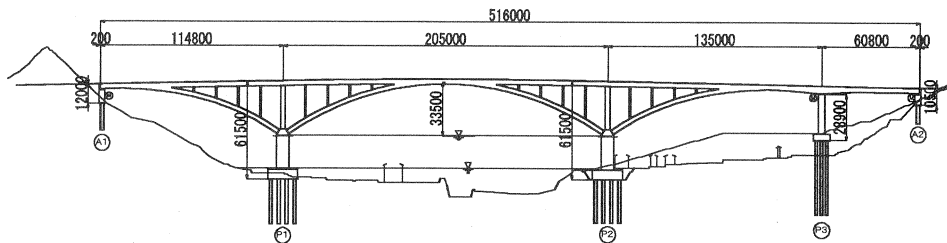


図-1 頭地大橋の側面図

2. ポンプ圧送試験

2.1 試験概要

人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートの高所ポンプ圧送施工の可否を確認するため, 既設のPC連続ラーメン橋を使用して, アーチリブ断面の施工性を含めたポンプ圧送試験を実施した。ポンプ圧送試験の概要とコンクリート打設実物大試験体(3.0m×2.8m×2.0m)を図-2に示す。コンクリートの鉛直圧送高さは70m, 水平圧送延長は80mとした。ポンプ車は最大吐出量 $100\text{m}^3/\text{h}$, 最大吐出圧力 4.9Mpa , 最大油圧 26.1Mpa の超高压仕様を使用した。ポンプ配管は125A(5B)の高圧用と一般用を使用した。コンクリートは実施工で想定されるレディーミクストコンクリート工場(以下, 生コン工場とする)より施工現場までの運搬時間60分を想定して, トラックアジテータ車(以下, 生コン車とする)により運搬し, ポンプ車で高所圧送後, 実物大試験体に打設を行い, 以下の項目に着目した測定を行った。

- ①ポンプ圧送によるフレッシュコンクリートの性状変化
- ②ポンプ圧送による硬化コンクリートの品質変化
- ③ポンプ圧送時の配管閉塞および配管内圧力
- ④打設時の締固め, 仕上げ性状および材料分離

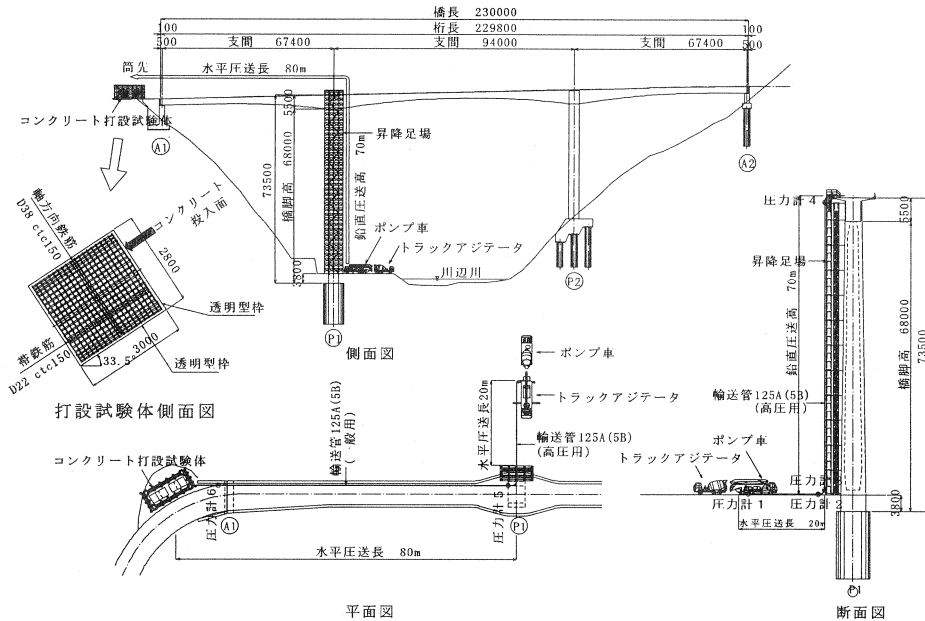


図-2 ポンプ圧送試験概要図 (単位のない長さは mm)

2.2 試験内容

(1)コンクリートの配合

ポンプ圧送試験に用いたコンクリートの使用材料と配合を表-1, 2 に示す。コンクリートは、室内試験²⁾および実機確認試験により決定した現場荷降し時のスランブを変化させた2配合とした。

表-1 コンクリートの使用材料

種類	使用材料	記号	物性・仕様
セメント	早強ポルトランドセメント	C	密度: 3.14g/cm ³ 比表面積: 4560cm ² /g
細骨材	陸砂 (球磨郡高原産)	S	表乾密度: 2.59g/cm ³ 絶乾密度: 2.54g/cm ³ 吸水率: 2.18%, 粗粒率: 2.85
粗骨材	人工軽量骨材 (膨張頁岩系)	G	表乾密度: 1.68g/cm ³ 絶乾密度: 1.27g/cm ³ 含水率: 32%, Gmax: 15mm
混和剤	高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	空気量調整剤	AE	変形ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

目標スランブ	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C × %)	
			W	C	S	G*	SP	AE
21cm	35.0	44.0	155	443	741	450	0.7	0.002
23cm						(360)	0.9	0.002

(*) 軽量骨材の単位量は絶乾質量で表記
()内は骨材の絶対容積 (リットル/m³)

表-3 圧送試験の種類

試験の種類	目標スランブ	公称吐出量 (m ³ /h)		
		標準圧送	低速圧送	高速圧送
タイプ1	23cm	21.5	11.5	25.0
タイプ2	21cm	21.5	11.5	25.0
トラックアジテータ		1台目	2台目	3台目

(2)試験ケース

ポンプ圧送試験は、表-3 に示すようにスランブを変化させた2種類のコンクリートを用いて、コンクリートのポンプ圧送速度を生コン車毎に変化させ、加圧力の影響を確認した。なお、公称吐出量は事前の確認試験において圧送可能であった 21.5m³/h を中心に3段階を想定した。

(3)試験項目

ポンプ圧送によるコンクリートのフレッシュ性状、硬化コンクリートの品質の変化を確認するために表-4 に示す試験を行った。また、ポンプ圧送時の配管内圧力を図-2 に示す圧力計の位置で測定した。さらに、コンクリート打設時の締固め性状や材料分離を目視観察するため、図-2 に示すコンクリート打設試験体は、底面、側面および端面は透明型枠を使用した。

表-4 試験の種類

フレッシュコンクリート試験	硬化コンクリート試験
スランブ試験 (JIS A1101)	圧縮強度試験 (JIS A1108)
空気量試験 (JIS A1128)	割裂引張強度試験 (JIS A1113)
単位容積質量試験 (JIS A1116)	静弾性係数試験 (JIS A1149)
骨材含水率試験 (JIS A1125)	-

3. 試験結果と考察

(1)フレッシュコンクリート

①生コン工場出荷時, ②ポンプ圧送前 (現場荷降ろし時), ③ポンプ圧送後 (ポンプ配管筒先) で行ったフレッシュコンクリートの試験結果を図-3, 4 に示す。圧送前のいずれのスランブ, 空気量とも, 目標スランブ (タイプ1:23cm, タイプ2:21cm), 目標空気量 (5.5%) とほぼ等しくなった。これは, 生コン工場の実機確認試験で運搬時間を想定した配合を選定したこと, 軽量骨材を製造工場よりPE内袋付きフレコンバック (容量1 m³) で搬入後, そのままの状態 で保管し, 練混ぜ前日に骨材サイロに投入するなど骨材の水分管理を十分行ったためと考えられる。

図-3 より圧送前後のスランブを比較すると, 圧送後の方が圧送前より, タイプ1, 2とも0.5~1.5cm小さいことがわかる。一方, 圧送速度の違いによるスランブ変化の明確な差は認められない。以上より, 選定した2配合のポンプ圧送性は良好であるといえる。

図-4 よりポンプ圧送後の空気量はタイプ1, 2とも目標空気量の5.5%とほぼ等しいことがわかる。また, 圧送前後の空気量を比較すると, いずれも1%前後増加している。この空気量の増加は, ポンプ圧送により空気を巻き込んだためと推察される。しかしながら, 圧送速度の違いが空気量の変化量に及ぼす影響は明確には認められない。これらのことより, ポンプ圧送により空気量は若干増加するが, 圧送速度が空気量に及ぼす影響は小さいと考えられる。

(2)硬化コンクリート

材令28日におけるポンプ圧送前後の圧縮強度および静弾性係数の試験結果を表-5 に示す。表より, いずれの供試体とも設計基準強度の40N/mm²を十分満足していることがわかる。しかし, 圧縮強度が若干ばらつく傾向があるため, PC定着部背面などの応力の集中するところでは, 材料分離に留意しながら入念な締固めが必要と考えられる。また, いずれの供試体とも圧送前後の圧縮強度比は10%程度の差であり, 圧送速度を変化させても, 圧送前後で圧縮強度比はほとんど変わらない。以上より, 圧縮強度に対するポンプ圧送の影響はほとんどないと考えられる。

静弾性係数は供試体ごとに若干ばらつきがあるが, 最低でも20kN/mm²程度の静弾性係数があることがわかる。つぎに, 圧送前後の静弾性係数を比較すると, タイプ1, 2とも数%低下している。これは, 空気量が圧送後に増加したためではないかと推察される。また, 圧送速度の違いによる静弾性係数の変化量の差は明確に認められない。以上より, ポンプ圧送により静弾性係数は若干低下するが, その影響は小さいといえる。

表-5 硬化コンクリートの試験結果

供試体 タイプ	生コン車	圧送速度	圧縮強度 (N/mm ²)		b/a	静弾性係数 (kN/mm ²)		d/c
			圧送前(a)	圧送後(b)		圧送前(c)	圧送後(d)	
タイプ1	1台目	標準	49.4	46.6	0.94	20.6	20.2	0.98
	2台目	低速	46.7	52.7	1.13	21.3	21.1	0.99
	3台目	高速	45.8	48.0	1.05	21.9	20.0	0.91
タイプ2	1台目	標準	49.3	49.0	0.99	23.4	21.9	0.94
	2台目	低速	57.4	50.8	0.89	22.7	21.1	0.93
	3台目	高速	50.9	48.3	0.95	22.3	21.3	0.96

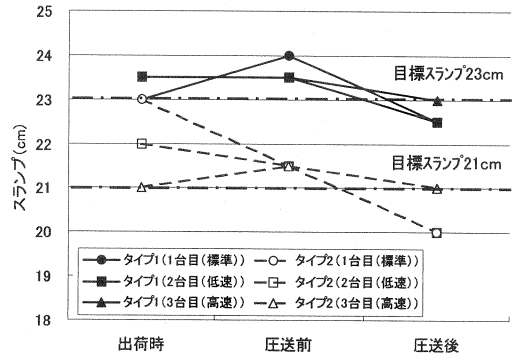


図-3 スランブの変化

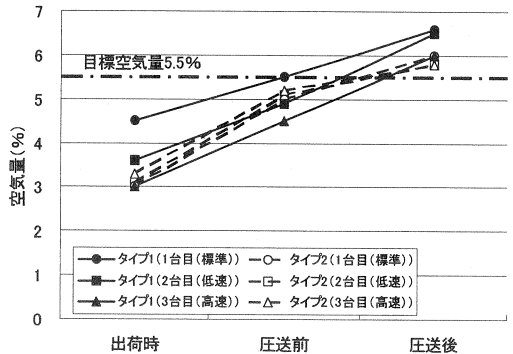


図-4 空気量の変化

(3)管内圧力

スランブを変化させた2種類の軽量コンクリートについて、圧送速度を標準、低速、高速と変化させてポンプ圧送試験を行ったが、コンクリートによる圧送管内の閉塞はいずれも発生しなかった。また、いずれの試験でも筒先から排出されたコンクリートに材料分離は見られなかった。

管内圧力の最大値は、高速圧送時の測点PIでタイプ1が5.31MPa、タイプ2が5.44MPaとなった。そのため、ポンプ配管は一般用(薄肉管4MPa級)では圧力が許容値を超過するため、高圧用(厚肉管7MPa級)を使用する必要があると考えられる。

吐出量と水平管1m当りの管内圧力損失の関係を図-5に示す。垂直管、ベント管は「コンクリートのポンプ施工指針」に示されている水平換算長さ¹⁾で水平長に換算した。また、人工軽量骨材コンクリートの125A(5B)管スランブ18cmの標準値¹⁾を図に併記する。図より、タイプ1,2の圧力損失は吐出量に比例して増加しており、その値はほぼ等しいことがわかる。また、スランブ18cmの標準値と比較すると、タイプ1,2とも圧力損失は小さい。よって、今回選定した配合の軽量コンクリートは、スランブ18cmの人工軽量骨材コンクリートに比べて圧送抵抗が小さいといえる。

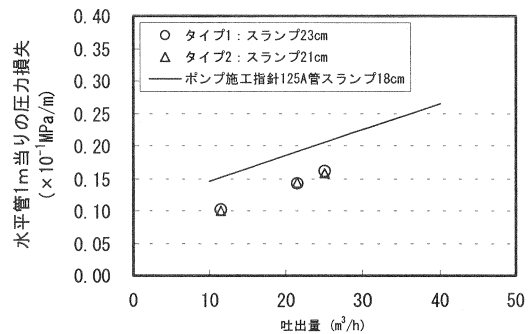


図-5 吐出量と配管1m当りの管内圧力損失

(4)コンクリート打設時の締固め、仕上げ性状および材料分離

実物大試験体へのコンクリート打設時の締固め性状、仕上げ性状および材料分離に関して目視により観察した。その結果、締固めについては、特に問題なく実施できたが、長時間バイブレータをかけると骨材が浮く傾向が見られた。仕上げについては、ブリーディングが少なく表面気泡もやや多いため、入念にこて仕上げする必要がある。材料分離については、ポンプ圧送試験のタイプ2は試験体内に材料分離もなく、密実に充填できることが確認できた。一方、タイプ1はバイブレータをかけると若干材料分離が見られたため、材料分離性状からはタイプ2の方がより安全といえる。

4. まとめ

設計基準強度 40N/mm²の高強度軽量コンクリートの高所へのポンプ圧送性を確認するために、軽量コンクリートのポンプ圧送試験を行った。その結果、以下のような結果を得ることができた。

- ①今回選定した配合の軽量コンクリートでは、鉛直圧送高さ70m、水平圧送延長80mのポンプ圧送が、閉塞や材料分離を起こすことなく可能であることを確認できた。
- ②ポンプ圧送がコンクリートのフレッシュ性状や硬化コンクリートの品質にほとんど影響しないことを確認できた。
- ③アーチスプリングを模した実物大試験体へのコンクリート打設を行ったが、締固め時間に注意する必要があるものの材料分離もなく密実に充填できた。

謝辞：本試験は頭地大橋架設技術検討委員会の審議結果に基づいて実施したものです。ご尽力いただいた委員各位ならびに試験にご協力いただいた人吉球磨地区生コンクリート協同組合、太平洋セメント(株)、太平洋マテリアル(株)および(株)ボゾリス物産の関係者に感謝いたします。

<参考文献>

- 1) コンクリートポンプ施工指針[平成12年度版], pp.13~24, pp.173~174, 土木学会, 2000
- 2) 大塚久哲・塚原健一・中尾好幸・左東有次, 人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する検討, コンクリート工学, vol41, No.12, pp.36~pp.43, 2003